

УДК 006.91: 681.2

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ

Соломахо Д. В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

В статье рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением достоверности операционного контроля. Достоверность контроля является основной характеристикой его качества и определяется вероятностью принятия правильного решения в процессе контроля. В свою очередь эта вероятность зависит от соотношения погрешности измерения и допуска контролируемого параметра, положения приемочных границ, а также показателей стабильности технологического процесса производства продукции. Существующие подходы к нормированию точности измерений, в частности, положенные в основу ГОСТа 8.051 и РД 50-98-86, не учитывают косвенное влияние стабильности технологического процесса на достоверность контроля и подлежат уточнению.

Введение

Операционный контроль качества продукции осуществляется, как правило, на всех стадиях производства и является преобладающим видом технического контроля в машиностроении.

В современных условиях особая актуальность операционного контроля связана с широким внедрением систем менеджмента качества, главной задачей которых является профилактика возможных дефектов непосредственно в процессе производства.

Вместе с тем, в научно-технической литературе и нормативной документации данному виду контроля практически не уделено внимание.

На сегодняшний день в производственной практике операционный контроль фактически приравнивается к приемочному. В связи с этим метрологические задачи, характерные для операционного контроля, решаются по аналогии с задачами приемочного контроля. Как показывает анализ [1], задачи операционного и приемочного контроля существенно различаются, поэтому их отождествление следует расценивать как некорректное.

Измерение в ходе операционного контроля может преследовать несколько целей:

- контроль «готового» параметра после последнего технологического перехода (фактический аналог приемочного контроля соответствующего параметра объекта);
- контроль «промежуточного» параметра;
- исследование технологического процесса по результатам измерений параметров объектов, производимых данным технологическим процессом;
- контроль состояния технологического оборудования по результатам получения значений соответствующего параметра на управляемой выборке объектов.

Остановимся на рассмотрении нормирования точности измерений в ходе контроля «готового» и «промежуточного» параметров.

Для решения поставленной задачи воспользуемся метрологическим моделированием процессов операционного контроля. Данная методология позволяет оценить влияние погрешности измерения на достоверность результатов контроля. На основании полученных оценок можно осуществлять нормирование погрешности измерения исходя из предельно допустимого риска принятия неправильного решения при контроле. Рассмотрим подробнее механизм построения метрологических моделей объектов контроля.

Метрологическое моделирование процессов операционного контроля

Отношение допуска контролируемого параметра к оценке рассеяния (полной изменчивости) процесса, называемое индексом пригодности процесса P_p , позволяет оценить вероятность получения детали, не соответствующей установленным требованиям (брака) в результате реализации определенного технологического процесса либо технологической операции. В качестве меры рассеяния используют k средних квадратических отклонений $\sigma_{\text{тех}}$ контролируемого параметра. Обычно при расчете статистических показателей возможностей процесса принимают допущение, что показатель качества процесса распределен по нормальному закону распределения, и для вероятности $P = 99,73\%$ коэффициент k принимают равным 6. При этом индекс пригодности рассчитывается по формуле:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{\text{тех}}}, \quad (1)$$

где USL и LSL – верхняя и нижняя границы поля допуска; $\sigma_{\text{тех}}$ – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра.

Если оценка рассеяния контролируемого параметра больше его допуска, то есть $P_p < 1$, можно утверждать, что процент несоответствующих требованиям единиц деталей составит больше, чем 0,27 %. Такое значение вероятности появления бракованной детали является достаточно большим, поэтому в целях обеспечения выпуска продукции надлежащего качества целесообразно производить сплошной контроль деталей. В отдельных случаях применение выборочного контроля деталей может оказаться экономически оправданным, однако для построения метрологической модели процесса контроля выбор сплошной либо выборочной формы не играет определяющей роли.

В случае если рассеяние контролируемого параметра меньше его допуска, то есть $P_p > 1$, можно утверждать, что процент несоответствующих требованиям единиц деталей составит меньше, чем 0,27 %. При значении $P_p > 1,33$ процент несоответствующих деталей составит 0,0066 %, и при таком соотношении допуска к рассеянию контролируемого параметра целесообразно переходить от контроля деталей к контролю состояния производственного процесса.

При попадании значения индекса пригодности процесса P_p в диапазон (1; 1,33) решение о выборе формы организации контроля принимается исходя из соображений экономической целесообразности.

Графическая интерпретация метрологической модели контроля продукции при нормальном распределении контролируемого параметра и погрешности измерения представлена на рисунке 1.

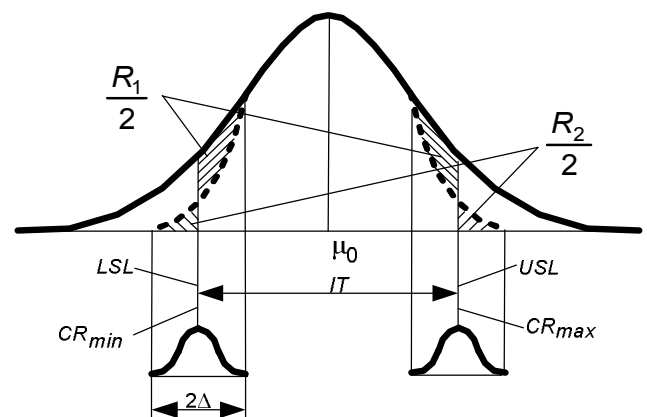


Рисунок 1 – Графическая интерпретация метрологической модели операционного контроля применительно к контролю продукции: USL, LSL – предельные значения контролируемого параметра (верхнее и нижнее соответственно); IT – допуск контролируемого параметра; CR_{min}, CR_{max} – приемочные границы; μ_0 – математическое ожидание контролируемого параметра; R_1 – риск первого рода; R_2 – риск второго рода; Δ – погрешность измерения

В рамках рассматриваемой метрологической модели изделие признается годным по контролируемому параметру, если выполняется условие:

$$LSL \leq X \leq USL, \text{ при } i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где n – общее количество изделий.

Из-за наличия погрешности измерений Δ_{Σ} , которая при измерительном контроле носит случайный характер, мы оперируем оценками контролируемого параметра $X_i^* = X_i + \Delta_{\Sigma i}$. Решение о годности изделия по контролируемому параметру принимается, если выполняется неравенство:

$$LSL \leq X^* \leq USL, \text{ при } i = 1, \dots, n. \quad (3)$$

Если известны плотность вероятностей $f(X)$ контролируемого параметра X и плотность вероятностей погрешности измерения $f(\Delta)$, то при независимости этих законов и заданных допустимых верхним и нижним значениях параметра вероятность принятия годной детали определяется по формуле:

$$P(A) = \int_{LSL}^{USL} f(X) \left[\int_{LSL-X}^{USL-X} f(\Delta) d\Delta \right] dX \quad (4)$$

Если неравенство (3) не выполняется, изделие признается несоответствующим требованиям (негодным) и бракуется.

Вероятность такого исхода описывается выражением:

$$P(D) = \int_{-\infty}^{USL} f(X) \left[\int_{-\infty}^{USL-X} f(\Delta) d\Delta \right] dX + \int_{USL}^{\infty} f(X) \left[\int_{-\infty}^{LSL-X} f(\Delta) d\Delta + \int_{USL}^{\infty} f(\Delta) d\Delta \right] dX. \quad (5)$$

Если неравенство (2) выполняется, а неравенство (3) не выполняется, то имеет место ошибка контроля первого рода (годное изделие будет забраковано).

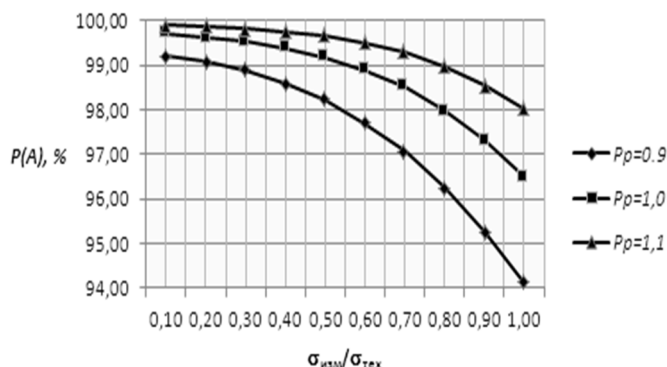


Рисунок 2 – Зависимость вероятности правильной приемки детали от соотношения $\sigma_{изм}/\sigma_{тех}$ при различных значениях P_p .

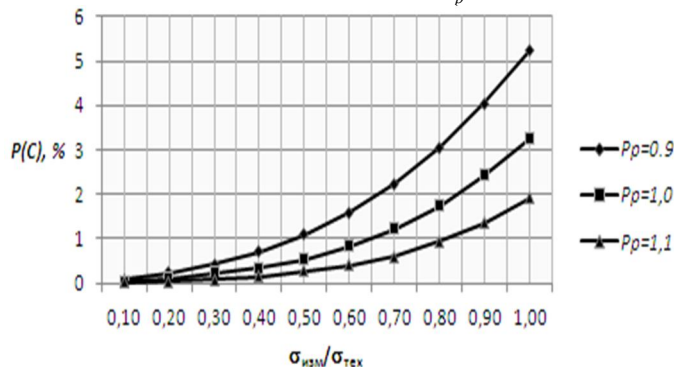


Рисунок 4 – Зависимость вероятности неправильной отбраковки детали от соотношения $\sigma_{изм}/\sigma_{тех}$ при различных значениях P_p .

Вероятность такой ошибки обозначим P_I . С другой стороны, если неравенство (2) для некоторой детали не выполняется, а (3) выполняется, то имеет место ошибка контроля второго рода (фактически негодное изделие будет признано годным). Вероятность ошибки второго рода обозначим P_{II} . Выражения для P_I и P_{II} имеют следующий вид:

$$P(C) = \int_{LSL}^{USL} f(X) \left[\int_{-\infty}^{LSL-X} f(\Delta) d\Delta \right] dX + \int_{LSL}^{USL} f(X) \left[\int_{USL-X}^{\infty} f(\Delta) d\Delta \right] dX, \quad (6)$$

$$P(B) = \int_{-\infty}^{LSL} f(X) \left[\int_{LSL-X}^{USL-X} f(\Delta) d\Delta \right] dX + \int_{USL}^{\infty} f(X) \left[\int_{LSL-X}^{USL-X} f(\Delta) d\Delta \right] dX. \quad (7)$$

Произведем расчеты при значениях $P_p = 0,9; \dots; 1,1$ и соотношениях погрешности измерения к допуску на измеряемый параметр $d = 0,1; \dots; 1,0$. Приемочные границы будем считать совпадающими с границами поля допуска. Результаты моделирования представлены на рисунках 2–5.

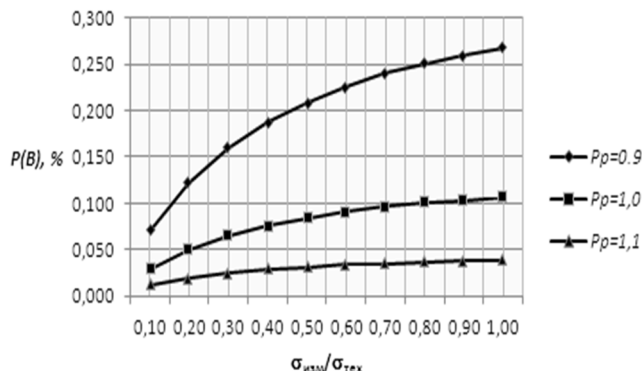


Рисунок 3 – Зависимость вероятности неправильной приемки детали от соотношения $\sigma_{изм}/\sigma_{тех}$ при различных значениях P_p .

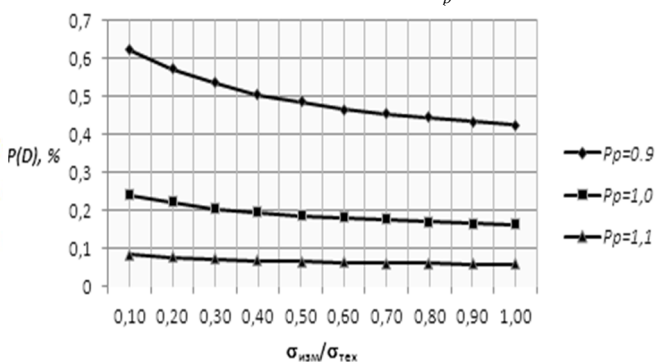


Рисунок 5 – Зависимость вероятности правильной отбраковки детали от соотношения $\sigma_{изм}/\sigma_{тех}$ при различных значениях P_p .

Анализ результатов моделирования

Анализ результатов, приведенных на рисунках 2–5, позволяет сделать следующие обобщения:

- в случае если производственный процесс обладает высокой стабильностью, т.е. индекс пригодности P_p для него превышает единицу, вероятность неправильной приемки продукции не превышает 0,1 % во всем диапазоне значений соотношения $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}}$. Для менее стабильных технологических процессов вероятность неправильной приемки составляет около 0,21 % при $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}} = 0,5$ и 0,27 % при $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}} = 1,0$. Очевидно, что изменение индекса пригодности процесса приводит к изменению вероятности неправильного принятия продукции в 2,5–3 раза;

- вероятность неправильного забракования продукции исчисляется единицами процентов для всех значений соотношения $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}}$ при всех исследуемых значениях P_p . Изменение индекса пригодности процесса не приводит к существенному изменению вероятности неправильного забракования продукции;

- вероятности неправильного принятия и забракования продукции, рассчитанные при помощи рассматриваемой метрологической модели, существенно меньше соответствующих предельных вероятностей, на основе которых разработаны рекомендации по нормированию погрешности, положенные в основу ГОСТа 8.051 и РД 50-98-86 [2,3].

Последнее заключение подтверждает целесообразность применения адаптивного подхода к нормированию точности измерений при операционном контроле применительно к контролю продукции. Указания по нормированию допустимой погрешности измерений, приведенные в ГОСТе 8.051, являются явно чрезмерно строгими для процессов, характеризующихся относительно высокой стабильностью (с индексом пригодности $P_p = 0,9$ и выше). Например, предельные значения вероятностей неправильного приема и забракования продукции по ГОСТ 8.051 для соотношения $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}} = 0,2$ равны соответственно 2,0 % и 2,8 %, в то время как проведенные расчеты показывают, что при значении $P_p = 0,9$ они равны соответственно 0,12 % и 0,43 %. Даже при значении $\sigma_{\text{изм}}/\sigma_{\text{тех}} = 1,0$ (т.е. погрешность измерения равна допуску на контро-

лируемый параметр), значения вероятностей неправильного приема и забракования продукции меньше рассматриваемых в ГОСТе 8.051 предельных вероятностей (2,0 % и 2,8 %). Для более стабильных процессов эти значения еще меньше. Этот анализ позволяет сделать вывод о возможности оптимизации точности измерений по критерию их экономичности, поскольку для достаточно стабильных процессов без ущерба достоверности контроля можно применять более простые средства измерения с большей инструментальной погрешностью. Экономический эффект от такой оптимизации может быть достаточно существенным, поскольку разница в стоимости средств линейных измерений, погрешности которых различаются в 2–3 раза, может составлять до 200 % (например, различие в стоимости микрометра и многооборотной измерительной головки).

Заключение

1. Предложена методика метрологического моделирования процессов операционного контроля, позволяющая осуществлять адаптивное нормирование допустимой погрешности измерений исходя из требований к достоверности контроля.

2. Разработанный адаптивный подход к назначению погрешности измерений при операционном контроле позволяет увеличить допустимые погрешности при разбраковке в 1,1;...;2 раза без снижения достоверности результатов при условии достаточно высокой стабильности технологического процесса ($P_p \geq 0,75$).

Список использованных источников

1. Соломахо, Д.В. Проблемы нормирования погрешности измерений при операционном контроле в машиностроении / Д.В. Соломахо // Приборостроение – 2009: материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конференции, Минск, 11–13 ноября 2009 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2009. – С. 228–229.
2. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм: ГОСТ 8.051-81. – Введен 01.01.1982. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метроло-

- гии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 12 с.
3. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров

до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051-81): РД 50-98-86. – Введен 01.07.1987. – Госстандарт СССР, 1987. – 68 с.

Solomakho D. V.

Metrological modeling of dimensional operational inspection processes as an instrument of reliability assurance

The article describes issues of operational inspection reliability assurance. Reliability is the most important property of inspection. Reliability is defined as the probability of correct decision making during the inspection. This probability depends on the measurement error and tolerance range ratio, position of acceptance limits and technological process stability. Existing approaches to measurement tolerance design, which are also used in ГОСТ 8.051 and РД 50-98-86, do not take into consideration the influence of technological process stability on inspection reliability. Thus, these approaches are to be reconsidered.

Поступила в редакцию 12.04.2011.